

傾斜監視クラウドシステム OKIPPA[®] 104 の導入実績と計測事例 Track record of inclination monitoring system OKIPPA104

鶴田 大毅*	永山 智之*
Tomotaka Tsuruta	Tomoyuki Nagayama
土屋 光弘**	黒田 卓也***
Mitsuhiro Tsuchiya	Takuya Kuroda

要 約

施工フェーズや維持管理フェーズにおいて、適確な現場巡視点検が求められているとともに、生産年齢人口の減少および建設技術者の減少が懸念されており、点検業務の省力化が求められている。これらに対応するため、対象構造物の変状の有無を“手軽で安価”に把握し、点検業務の省力化を図る『バラまき型』の監視システムを構築することを目的とした「傾斜監視クラウドシステム（OKIPPA104）」を開発した¹⁾。

本システムのデータ転送は、省電力広域無線通信 LPWA を採用し、設備の簡素化および低コスト化が可能となり、現場への導入ハードルを大幅に低減することが可能である。これまでの実証実験と実際の施工現場における計測事例の結果から、本システムの有効性を確認することができた。

また、本システムの機能を活用して開発した「OKIPPA 伸縮計」についても、コンクリートひび割れ幅の平均気温の変動に伴う経時変化を確認できたことから、利用用途の拡大および監視項目の追加が可能となり、OKIPPA の多角化（diversity）、多用途化（multipurpose）を進めている。

本稿では、OKIPPA の概要と導入実績、適用分類、計測事例を紹介し、インフラ点検分野でのデジタルトランスフォーメーションの活用にと寄与できるものと考えている。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 本システムの概要
- § 3. 導入実績と適用分類
- § 4. 実際の施工現場における計測事例
- § 5. まとめと今後の展開

§ 1. はじめに

我が国のインフラ施設は、高度経済成長期に集中的に整備され、今後急速に老朽化することが懸念されている。老朽化や災害への対策が必要とされる一方、生産年齢人口の減少は着実に進行しており、生産性向上を目指す施策 i-Construction が推進されている。

また、安全・安心なインフラ施設を次世代に継承するためには、データやデジタル技術を活用した、インフラ分野のデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進が求められている。

このような状況から、建設現場においても、可能な範囲で「ヒト」から「カイ」に業務を置き換え、業務の省力化を図ることが喫緊の課題となっている。

これらの課題を解決する目的で開発した「傾斜監視クラウドシステム OKIPPA104」（以下、OKIPPA と略す）は、2018年5月からの利用開始以降、社内・社外の建設現場およびインフラ施設の変状監視で利用されてきた^{1~5)}。本稿では、2021年1月末時点での導入実績および適用分類、実際の現場における計測事例について報告する。

§ 2. OKIPPA の概要

本システムは、センサボックスだけで始められる傾斜監視クラウドシステム（図-1）で、巡視による目視点



図-1 本システムの構成イメージ

* 新規事業統括部新規事業推進部

** 土木設計部設計一課

*** 技術研究所土木技術グループ

検が困難な箇所のうち、傾斜角度の変化により変状を把握したい場所の監視・点検に利用するものである。

データを転送する無線通信は、省電力広域無線通信 LPWA (Low Power Wide Area) の Sigfox (シグフォックス、以下「Sigfox」と略す) を採用したことで、自営の基地局、中継器および配線が不要で、かつ内蔵電池で2年間稼働 (1時間に1回の計測および通信時) が可能である。従来の監視システムと比較し、OKIPPA は設備の簡素化・コストダウンが実現し、現場への導入ハードルを大幅に低減することが可能である (図-2)。

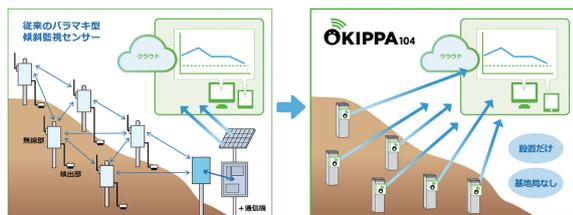


図-2 従来の監視システムと本システムとの比較

OKIPPA のセンサボックスの外観を写真-1、本システムの主な計測項目を表-1 に示す。

はじめに、監視対象にセンサボックス (10 cm×10 cm×4 cm、重量約 300 g) を確実に設置し電源 ON の状態にすれば、計測および通信が開始する。センサボックスの設置方法は、2つのブラインドカバーの中にある固定用のビス穴を利用し、M3~4 程度のビスおよびプラグアンカーで確実な固定が可能である (写真-1)。

傾斜角度をはじめとするインフラ監視に必要な各計測データを Sigfox を用いてクラウドサーバへ送信し、クラウドサーバの Web 画面に可視化させることによりインフラ監視を行う。

任意の時刻の傾斜角データを起点値と設定 (ゼロセット) し、その差分値を確認することで設置した箇所の変状を監視する。

OKIPPA の計測現地や閲覧方法、アラート通知機能、遠隔操作による計測間隔の変更などの詳細については既報を参照されたい^{1)~5)}。



写真-1 センサボックスの外観と固定用ビス穴

表-1 本システムの主な計測項目

項目	内容
傾斜計測	分解能：0.06° 精度：約±0.1度 測定範囲：±180° (3軸) 通信間隔：1時間に1回 (標準)
衝撃検知	無感~16 G (標準 4 G：ノック程度)
GPS 測位	概略測位のみ 精度：数 m 計測間隔：1週間に1回 (標準)

§ 3. 導入実績と適用分類

3-1 実証マッチングでの導入実績

OKIPPA は、2018 年 5 月より社内・社外の建設現場やインフラ施設などにおいて導入され始め、国土交通省、地方自治体、高速道路、鉄道事業者、電力事業者をはじめ、大学などの研究機関、建設コンサルタントの調査業務などで導入されている。

国土交通省が推進する i-Construction の活動における「現場ニーズと技術シーズのマッチング」において、表-2 の試行導入を実施した。

表-2 現場ニーズと技術シーズのマッチング

2018 年度	
実施地域	九州地方整備局管内
現場ニーズ	切土法面の安定性を確認する技術
技術シーズ	傾斜監視
2019 年度	
実施地域	中部地方整備局管内
現場ニーズ	切盛土のり面の長期安定性を確認する技術 仮設鋼製橋梁の共用時における挙動監視
技術シーズ	傾斜監視 + 伸縮監視

3-2 OKIPPA の適用分類 (実績)

2021 年 1 月末時点での OKIPPA の設置台数は合計 653 台である。OKIPPA の適用分類ごとに設置台数を集計したグラフが図-3 である。図から、法面への適用台数が多いことが理解でき、広範囲に点在する場所で効率的に計測を行うことができる OKIPPA のメリットを最大限に生かす意図が見受けられる。

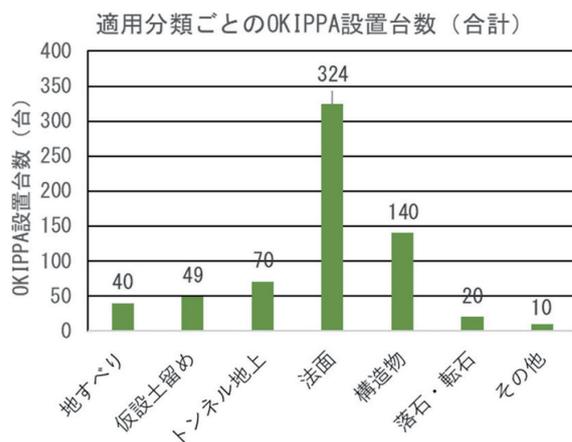


図-3 OKIPPA の適用分類 (社内・社外)

擁壁や橋脚などの線状および点状に分布する構造物への適用が 140 台あり、容易に複数箇所を計測できる OKIPPA のメリットが構造物の監視にも活かされている。

図-4 は弊社内での適用分類を示している。社内合計 258 台のうち、法面での適用台数が 84 台で最も多い。施工中の計測を目的として、トンネル掘削時の地表面計測 (図中のトンネル地上) の補助や、構造物や仮設土留めの順に適用台数が多い。

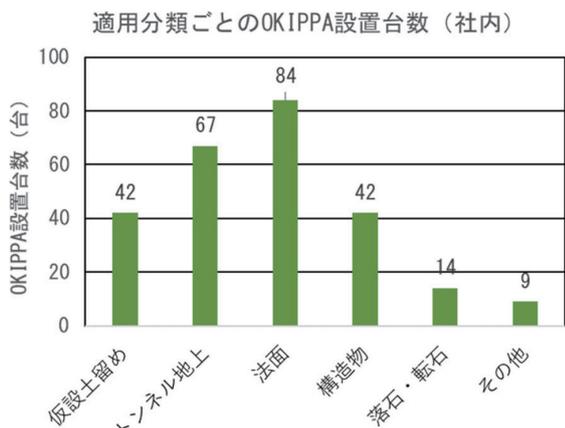


図-4 OKIPPA の適用分類（社内）

当初設計に有線通信による計測工（挿入式傾斜計や切梁軸力径など）が計画されている場合（仮設土留めの計測など）は、通常 OKIPPA は利用されない。しかし、変状が発生する可能性は低いものの、予防措置の観点で計測を実施したい場合に OKIPPA が活用されている。OKIPPA により変状を発見した場合には、工事発注者や施設管理者と協議の上、より高精度な計測工の導入を提案するなど、工事現場の安全を確保した事例がある。

図-5 は社外での適用分類を示している。インフラ施設管理者による法面への適用台数が突出して多い（約 61%）。法面の計測では、OKIPPA 伸縮計と併用している事例があり、OKIPPA 傾斜計と OKIPPA 伸縮計を併用することで、両者の計測値の妥当性確認広範囲の法面での変状リスクの早期キャッチアップ、計測コストの合理化などが実現されている。

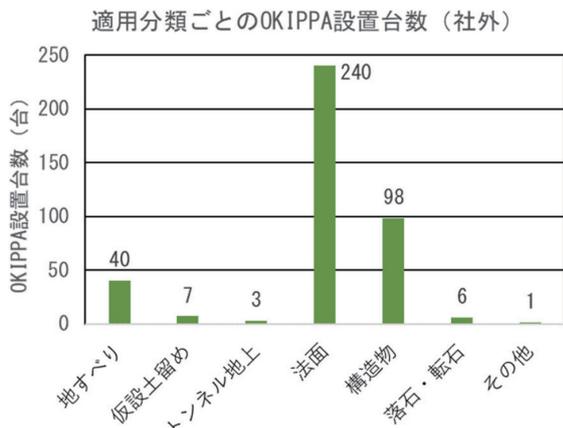


図-5 OKIPPA の適用分類（社外）

§ 4. 実際の施工現場における計測事例

4-1 道路の応急復旧工事における計測事例

OKIPPA で実際に計測した事例（写真-2）として、応急復旧工事施工中の道路法面における計測事例を図-6 に示す。本事例では、降雨に伴い徐々に計測値が変動していることが確認された。同図には 8 時間の移動平均線を追記しており、傾斜測定値にばらつきは認められるも

の、任意の時間での移動平均線を示すことで、変動傾向にあるか、あるいは落ち着く傾向にあるかなど、計測値のトレンドが確認できる。



写真-2 OKIPPA による計測状況

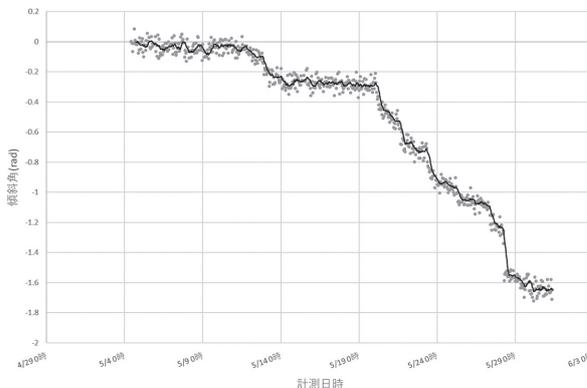


図-6 OKIPPA による傾斜角度の計測結果

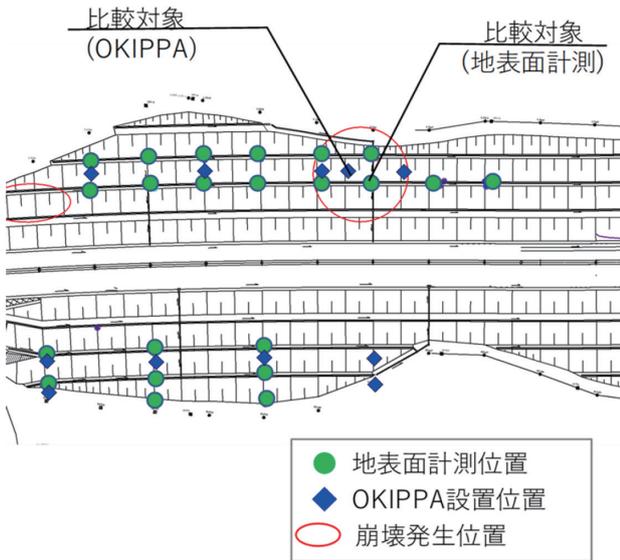
4-2 道路工事中の切土法面監視事例

OKIPPA を用いて道路工事の施工中切土法面の動態観測を行った事例を示す。対象切土区間の地質は、岩盤が熱水変質を受けており、不規則に粘土状を呈する複雑な地質となっていた。切土面に粘土化した変質土が露出することで、応力開放と降雨などの影響により脆弱化し、法面変状と崩壊が発生した（写真-3）。



写真-3 法面崩壊の状況

そこで、切土法面の動態観測を目的として、トータルステーション（以下、TS）を用いた地表面計測を 1 回/日～1 回/数日の頻度で行った。法面の変状はいつ発生するか予測困難なため、TS 計測位置の近接個所に自動計測



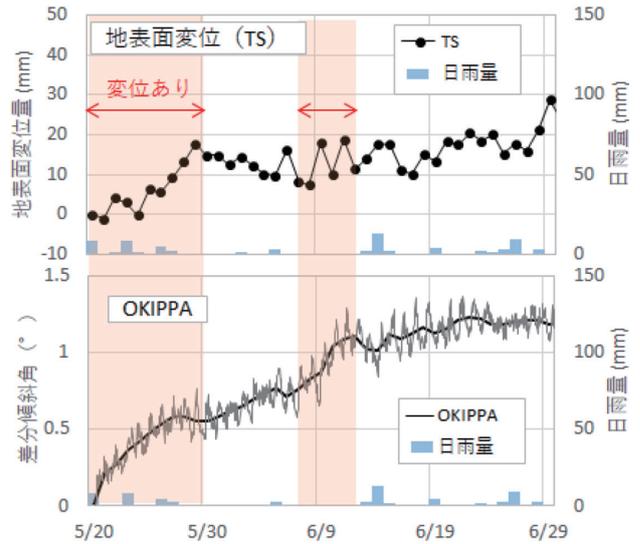
図一七 動態観測位置図

可能な OKIPPA を設置し，法面の常時監視（1 回／時）を行った（図一七）。

OKIPPA により切土法面の状況をほぼリアルタイム監視することで，変状の進行や崩壊の兆候を早期に把握することができる。変位の進行が見られる場合は，職員・作業員に周知して注意喚起するとともに，地表面変位計測を適宜実施するなど，計測管理の効率化と施工中の安全性向上に繋がった。また，地表面計測の測点間に OKIPPA を設置することで TS による動態観測の補間ができ，職員による計測手間を軽減し，生産性向上が可能になると考えられる。

図一八に，切土法面の地表面変位量（TS）と OKIPPA で計測した傾斜角の経時計測結果を対比して示す。当該測点では，地表面に累積 40 mm 程度の変位が生じた。特に 5/30 までの変位の増加が著しく，法面に変状が確認された。地表面変位（TS）と OKIPPA 傾斜角の挙動を対比して見ると，両者とも 5/30 までに変化が大きい傾向を示し，その後変状が微増する傾向を示しており，全体的な挙動は一致している。以上の結果から，OKIPPA は地表面変位を比較的良好にとらえていて，法面変状の早期発見・作業員の安全管理に活用することが可能である。なお，図の OKIPPA 傾斜角の測定値には小刻みな変動が認められるが，これは 1 日の気温変化などの影響と考えている。OKIPPA を斜面に固定する杭または釘が気温変化に伴い伸縮し，伸縮に応じて傾斜角も変動している可能性が考えられる。OKIPPA では気温も併せて計測しており，気温の影響を補正すれば，より安定した測定値を得られる可能性がある。

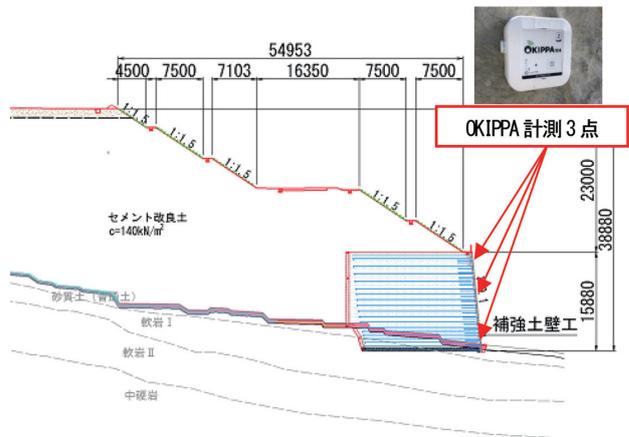
気温変化などの留意点はあるものの，地表面変位量（TS）と併用することで，OKIPPA は法面動態をいち早く察知するとともに，切土延長約 1.6 km に OKIPPA を 17 台設置することで効率的に切土法面の動態監視を行うことが可能となった。



図一八 動態観測の対比図（上：地表面変位，下：OKIPPA）

4-3 補強土壁の監視事例

OKIPPA を用いて補強土壁の動態観測を行った事例を示す。計測対象の補強土壁の断面図を図一九に示す。補強土壁の壁面へは，あと施工アンカーとビスを用いて固定でき，他の補強土壁についても同様に OKIPPA の設置が簡便に可能である。



図一九 補強土壁断面図と計測位置（測線 No.24）

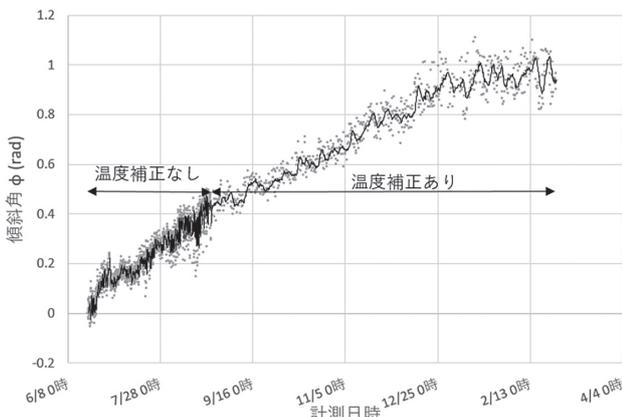
計測対象の補強土壁は，壁高 $H = 15.9$ m，嵩上げ盛土を含めた盛土高は約 39 m であり，補強土壁工法の比較検討の結果，アダムウォール工法が採用された。参考文献 6 の規定では，盛土高 15 m までが設計・施工マニュアル⁶⁾ の適用範囲となっているため，参考文献 7,8 に基づき，盛土材の選定，排水工などの詳細設計が実施されている。

また，NEXCO 土工施工管理要領⁹⁾ では，補強土壁の挙動の管理について規定されており，当該現場では職員による測量が必要なため，補強土壁施工中の効率的な動態観測ができないか，課題として挙げられていた。

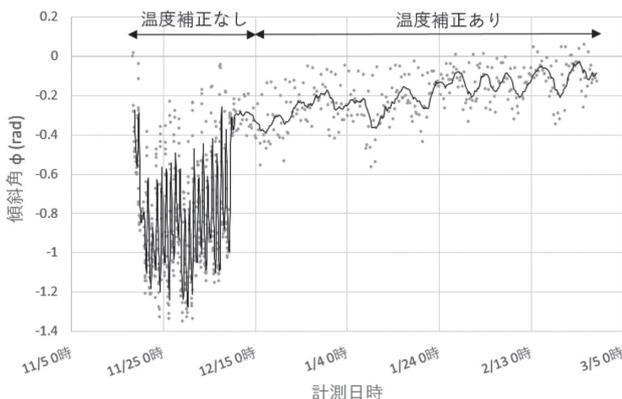
そこで，動態観測の生産性向上を目的として，トータルステーションを用いた測量計測以外の手法として OKIPPA の導入を提案し，採用された。OKIPPA の計測頻度は 1 回/時である。また補強土壁の OKIPPA による

計測は、壁高の高い3測線 (No.10, No.20 および No.24) に対し、高さ方向に3点で実施した。OKIPPAは、補強土壁の施工進捗に合わせ適宜、補強土壁パネルに設置している。

測線 No.24 での OKIPPA による傾斜角計測結果を図一10, 11 に示す。補強土壁パネルの4段目, 10段目の傾斜角について、8測点 (8時間) の移動平均による近似曲線を追加している。



図一10 OKIPPA による計測結果 (4段目)



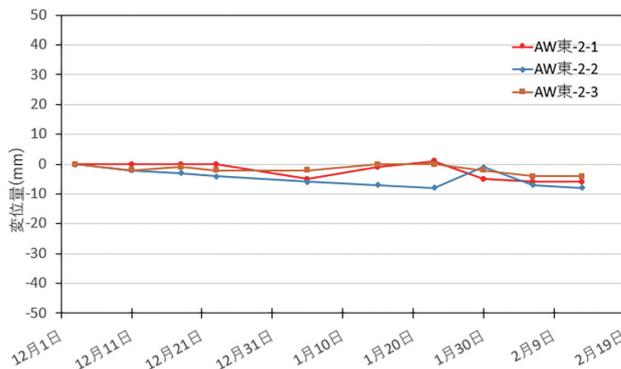
図一11 OKIPPA による計測結果 (10段目)

パネル4段目の計測では、傾斜角はプラスであり、補強土壁の盛土進捗に合わせ傾斜角が増加し、パネル上部が前面側に変位する傾向である。パネル10段目の計測では、計測当初に傾斜角はマイナスでありパネル下部が前面側に変位する傾向である。その後、傾斜角は盛土進捗に合わせ減少傾向 (プラス方向に増加傾向) となり、現時点では傾斜角は概ねゼロに近づいている。

補強土壁の施工完了後は、職員による測量計測の頻度を1回/週で実施しており、高上げ盛土施工中は OKIPPA による監視を継続し、変位の増加が予想される際は測量により、補強土壁の変位状況を確認している。

本稿執筆時点 (2021年2月末時点) では、OKIPPA および測量計測結果に変位の急増はなく、前面側に微増している状況である (図一12)。

OKIPPA による計測は、ほぼリアルタイム監視することができ、変位の進行や兆候を早期に把握することができることから、職員による測量計測を大幅に軽減でき、生



AW東-2 壁面天端 (標高194付近) の水平変位
図一12 測量による壁面天端計測結果 (測線 No.24)

産性向上に寄与できたものと考えている。

4-4 造成工事における巨石の監視事例

OKIPPA を用いて巨石の動態観測を行った事例を示す。太陽光発電所造成工事の調整池掘削に伴い、法肩近傍で巨石の存在が確認された。巨石の落下などによる変位は作業員の安全確保に加え、隣接民家へ影響を及ぼすことが懸念されたため、OKIPPA を設置し、巨石を監視している (写真一4, 5)。巨石は多数存在し、当該造成工事は、施工範囲が広く職員による監視作業を省力化する目的もあり、簡便かつ安価な OKIPPA が採用された。



写真一4 造成工事における巨石の監視事例 1



写真一5 造成工事における巨石の監視事例 2

4-5 OKIPPA による既設擁壁と切土法面の監視事例

トンネル坑口への工事用道路として施工した切土と切土背面の既設擁壁を OKIPPA により動態観測を行った事例を示す（写真—6, 7）。既設擁壁が切土法面に近接しており、切土法面の変状監視が必要であることから、両構造物を対象に OKIPPA を設置した。

当該現場においても、測量作業を省力化する観点から、簡便かつ安価な OKIPPA が採用されている。



写真—6 既設擁壁の監視事例



写真—7 切土法面の監視事例

4-6 OKIPPA 伸縮計によるクラック計測事例

OKIPPA 伸縮計を用いて法肩の張りコンクリートに確認されたクラックの挙動計測を行った事例を示す。

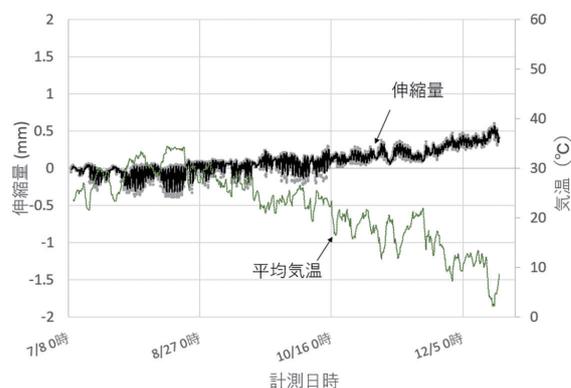
平均気温の低下傾向に伴い、伸縮量が増加、すなわちクラック幅が増加する傾向が確認できる（図—13）。

§5. まとめと今後の展開

今後、本システムを活用することで、施工現場におけ



写真—8 張りコンクリートのクラック計測事例



図—13 クラック計測結果 (OKIPPA 伸縮計)

る省力化を図るだけでなく、供用中のインフラ監視に対する導入ハードルを下げることをコンセプトとした OKIPPA シリーズとして、インフラ施設の監視ソリューションを追加していく。

さらに計測実績を蓄積し、地盤や気象などの関連データと AI を掛け合わせ、有機的なインフラ点検（施工中から供用後）の可能性を追求していく予定である。

本システムが CIM と同様に、インフラ施設のライフサイクル全体を見通した情報マネジメントや情報の見える化に寄与できることを目指すと同時に、インフラ施設を網羅的に監視できる“手軽で安価”な『バラまき型』の監視システムが、従来型の詳細な監視システムを補完するシステムとなることで、安全・安心なインフラ事業の省力化に貢献し、インフラ分野のデジタルトランスフォーメーションを推進していくことを目指す。

参考文献

- 1) 次世代インフラ監視システム (OKIPPA104) の開発と実証, 西松建設技報 VOL. 42, 2019 年
- 2) 次世代インフラ監視システムの開発と運用, 建設機械施工, 2018 年 11 月号
- 3) 傾斜監視クラウドシステム「OKIPPA」, 北陸の建設技術, 2020 年 8 月号
- 4) 小泊権現崎における地すべり斜面の監視クラウドシステムについて, 2019 年度砂防学会研究発表会
- 5) 日原街道の復旧概要と供用後のモニタリング「インフラ監視クラウドシステム OKIPPA」, 土木施工, 2020 年 9 月号
- 6) アダムウォール (補強土壁) 工法 設計・施工マニュアル, 平成 26 年 9 月, 一般財団法人土木研究センター
- 7) 盛土高さ 20 m を超える高盛土へのアダムウォールの適用に関する留意点, 平成 28 年 1 月, アダムウォール協会
- 8) 補強土壁の変状事例から学んだ教訓と課題, 地盤工学会誌, 2019 年 11 月・12 月号
- 9) 土工施工管理要領, 令和 2 年 7 月, NEXCO 東日本・中日本・西日本